

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3623696 A1**

⑤1 Int. Cl. 4:
F04D 27/02
F 02 C 9/00

②1 Aktenzeichen: P 36 23 696.9
②2 Anmeldetag: 14. 7. 86
④3 Offenlegungstag: 28. 1. 88

Behördeneigentu

DE 3623696 A1

⑦1 Anmelder:
Hennecke, Dietmar, Prof. Dr., 6101 Roßdorf, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

Rechercheantrag gem. § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt

⑤4 **Verdichter mit Einrichtungen zur Verhinderung des Pumpens**

Verdichter mit Einrichtung zur Verhinderung des Pumpens, wobei die Meßsensoren an besonders gefährdeten und/oder geformten Stellen (Sollablösestellen) angebracht sind. Diese können in Form von ganz oder teilweise stärker angestellten oder gewölbten Leitschaufeln oder Wandausbeulungen ausgebildet sein. Dadurch soll bei Annäherung des Betriebspunktes an die Pumpgrenze die Strömungsgrenzschicht an den Sollablösestellen abreißen, dies erfaßt werden und über eine Regeleinrichtung geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden, bevor die Grenzschichtablösung an der gesamten Verdichterstufe auftritt.

DE 3623696 A1

1. Verdichter mit einer Einrichtung zur Verhinderung des Pumpens, dadurch gekennzeichnet, daß an einer oder mehreren Stellen (1) des Verdichters (2), die grenzschichtablösegefährdet sind, örtlich die Geometrie so verändert wird, daß dort früher und definierter als bei einer das Pumpen des Verdichters bewirkenden Ablösung, eine lokal eng begrenzte Ablösung der Grenzschicht einsetzt, und an jeder solchen Stelle veränderter Geometrie (Sollablösestelle) Sensoren (3) angebracht sind, welche die Ablösung erkennen und über einen Regelkreis (4) Maßnahmen einleiten, die eine Absenkung der Arbeitslinie bewirken.
2. Verdichter nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Stelle, an der die Geometrie im Verdichter verändert ist, eine einzelne Leitschaufel (5) aus einer Leitschaufelreihe ist, die in bestimmten Betriebszuständen besonders ablösegefährdet ist.
3. Verdichter nach Anspruch 2 dadurch gekennzeichnet, daß die Leitschaufel (5) stärker gegenüber der Verdichterströmung angestellt ist als die anderen Leitschaufeln derselben Schaufelreihe.
4. Verdichter nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelne Leitschaufel (5) stärker gewölbt ist als die anderen Leitschaufeln derselben Schaufelreihe.
5. Verdichter nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Geometrie der einzelnen Leitschaufel (5) nur örtlich, z. B. am radial äußeren oder inneren Ende verändert ist.
6. Verdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollablösestelle eine örtliche Ausbeulung oder Einbuchtung an der äußeren oder inneren Wandung des Verdichterströmungskanals (6) ist.
7. Verdichter nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Maßnahmen zur Absenkung der Arbeitslinie Leitschaufelverstellung, Abblasung von Verdichterluft (8), Änderung des Gegendrucks im Verdichter (9) oder andere geeignete Maßnahmen angewendet werden.
8. Verdichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren (3) flächendeckend angeordnet sind.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Verdichter mit Einrichtungen zur Verhinderung des Pumpens.

Die hochbelasteten Verdichter moderner Gasturbinenflugtriebwerke sind empfindlich gegenüber stationären und instationären Störungen, verursacht z. B. durch Ungleichförmigkeit im Geschwindigkeits- und Temperaturfeld der Zuströmung (Seitenwind, Böen oder ähnliches), durch Änderung der Spalte zwischen Laufschaufeln und Gehäuse, durch Beschädigungen oder durch Druckschwankungen beim Nachbrennerzünden oder Düsenverstellungen. Solche Störungen senken in der Regel die Pumpgrenze, so daß es zum Pumpen des Verdichters kommen kann. Aus Sicherheitsgründen wird daher üblicherweise der Verdichter auf einer Arbeitslinie mit einem relativ großen Abstand zur Pumpgrenze betrieben. Eine Verringerung dieses Pumpgrenzenabstandes würde eine höhere Belastung des Verdichters und somit einen höheren Wirkungsgrad und geringeren Brennstoffverbrauch der Gasturbine ermöglichen.

Aus "Aviation Week and Space Technology", March 11, 1985, Seite 74 ff ist ein System bekannt, bei dem die Verdichterarbeitslinie entsprechend der jeweiligen Situation (Machzahl, Höhe, Anstellwinkel usw.) eingestellt wird, und zwar nach einem vorab ermittelten Gesetz (d. h. durch eine Steuerung). Auf unerwartete Störungen kann ein solches System nicht reagieren, so daß es doch zum Pumpen kommen kann.

Aus der Druckschrift "Smart Engine Components — A Micro in Every Blade" des American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA-85-1 296) sind ferner Überlegungen bekannt, diese Probleme durch Regelungen zu beseitigen, welche aufgrund von Messungen bestimmter Betriebsparameter eine Leitschaufelverstellung durchführen. Dafür werden Messungen von örtlichen Druck- und Strömungsverteilungen vorgeschlagen, wobei jedoch der Nachteil auftritt, daß die zuverlässige Vorhersage einer akuten Pumpgefahr nicht möglich ist. Es gibt keine verlässlichen Symptome einer bevorstehenden Strömungsablösung, so daß die Meßsensoren entweder erst so unmittelbar vor Ablösung der Grenzschicht ansprechen, daß es zur Verhinderung des Pumpens zu spät ist, oder trotzdem ein großer Sicherheitsabstand des Betriebspunktes von der Pumpgrenze eingehalten werden muß.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Anordnung zu schaffen, die so frühzeitig das Annähern der Arbeitslinie an die Pumpgrenze anzeigt, daß noch genügend Zeit verbleibt, geeignete Maßnahmen zur Verhinderung des Pumpens durchzuführen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß an einer oder mehreren Stellen des Verdichters, die grenzschichtablösegefährdet sind, örtlich die Geometrie so verändert wird, daß dort früher und definierter als bei einer das Pumpen des Verdichters bewirkende Ablösung, eine lokal eng begrenzte Ablösung der Grenzschicht einsetzt, und an jeder solchen Stelle veränderter Geometrie (Sollablösestelle) Sensoren angebracht sind, welche die Ablösung erkennen und über einen Regelkreis Maßnahmen einleiten, die eine Absenkung der Arbeitslinie bewirken.

Eine Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß die Stelle, an der die Geometrie im Verdichter verändert ist, eine einzelne Leitschaufel aus einer Leitschaufelreihe ist, die in bestimmten Betriebszuständen besonders ablösegefährdet ist.

Vorzugsweise ist die Leitschaufel stärker gegenüber der Verdichterströmung angestellt als die anderen Leitschaufeln derselben Schaufelreihe. Dies hat den Vorteil, daß insbesondere bei verstellbaren Leitschaufeln nur geringe Änderungen für die geänderte Schaufel erforderlich sind.

Alternativ kann die Leitschaufel stärker gewölbt sein als die anderen Leitschaufeln derselben Schaufelreihe.

Alternativ kann die Leitschaufel nur örtlich, z. B. am radial äußeren oder inneren Ende verändert sein. Dadurch bleibt die Strömungsablösung auf einen sehr kleinen Bereich beschränkt, und ein etwaiger negativer Einfluß auf den Verdichterwirkungsgrad bleibt gering.

Eine weitere Ausführungsform sieht vor, daß die Sollablösestelle eine örtliche Ausbeulung oder Einbuchtung an der äußeren oder inneren Wandung des Verdichterströmungskanals ist. Dies hat den Vorteil, daß keine Veränderungen an einzelnen Leitschaufeln durchgeführt werden müssen und eine Anbringung von Sensoren an den Wandungen einfach durchzuführen ist.

Als Maßnahmen zur Verhinderung von Verdichterpumpen sind Leitschaufelverstellung des Verdichters,

Abblasung von Verdichterluft, Anwendung des Gegen-
drucks im Verdichter durch Schubdüsenverstellung
oder andere geeignete Maßnahmen anzuwenden.

Die angebrachten Sensoren sind vorteilhafterweise
flächendeckend angeordnet. Dadurch lassen sich aussa- 5
gekräftigere Messungen des Verdichter-Betriebszu-
standes als bei punktförmigen Sensoren durchführen.

Durch die Erfindung ergibt sich insbesondere der
Vorteil, daß an den Stellen des Verdichters, die ablöse- 10
gefährdet sind (z. B. an den Leitschaufeln) mit Hilfe von
angebrachten geeigneten, schnell ansprechenden, evtl.
flächendeckenden Sensoren eine drohende Grenz-
schichtablösung und damit die Pumpgefahr erkannt
werden kann. Die Signale können dann analysiert und
geeignete Maßnahmen eingeleitet werden, um die Ar- 15
beitslinie genügend weit abzusenken, so daß Pumpen
gerade vermieden wird. Durch die an ablösegefährdeten
Stellen örtlich veränderte Geometrie wird erreicht, daß
dort gezielt eine sehr lokal begrenzte Ablösung der
Grenzschicht einsetzt und zwar früher und definierter 20
als die das Pumpen bewirkende Ablösung. An jeder sol-
chen Sollablösestelle ist dann mindestens ein Sensor, der
die Ablösung erkennt, angebracht. Die Sollablösungen
müssen dabei so beschaffen sein, daß sie ihrerseits kein
Pumpen auslösen. 25

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Er-
findung dargestellt. Die Zeichnung zeigt ein Gasturbi-
nentriebwerk schematisch und teilweise im Längs-
schnitt.

Das Gasturbinentriebwerk umfaßt einen Verdichter 2 30
und eine diesem nachgeordnete und nicht näher darge-
stellte Turbine 12. Am Ausgang des Triebwerks ist eine
verstellbare Schubdüse 13 angeordnet. Eine Leitschau-
fel 5 des Vorleitgitters des Verdichters 2 ist an ihrem
radial inneren Ende mit einer stärkeren Wölbung verse- 35
hen als über ihre restliche Länge. In diesem Bereich
befindet sich ein Drucksensor 3 zur Registrierung der
Druckverhältnisse an dem stärker gewölbten Teil dieser
Leitschaufel 5, welcher gegenüber Strömungsablösun-
gen empfindlicher ist als der Rest der Leitschaufel 5 40
(Sollablösestelle). Der vom Sensor ermittelte Druck
wird als Meßgröße über eine Wirkverbindung 11 einem
Regelgerät 4 zugeführt, welches entsprechend einer
vorbestimmten Einstellung über eine Wirkverbindung
14 eine Leitschaufelstellvorrichtung 7 im Sinne einer 45
Absenkung der Arbeitslinie des Verdichters betätigt.
Alternativ zur Leitschaufelstellvorrichtung 7 und der
Wirkverbindung 14 können Wirkverbindungen 15, 16
vorgesehen sein, die eine Abblasvorrichtung 8 des Ver-
dichters oder eine Stellvorrichtung 9 der Schubdüse 50
13 betätigen. Alternativ zu dem an der Leitschaufel 5
befindlichen Drucksensor 3 kann ein Drucksensor 1 in
einer örtlichen Einbuchtung 6 der Verdichterkanalwan-
dung 10 vorgesehen sein.

55

60

65

3623696

Nummer:
Int. Cl.4:
Anmeldetag:
Offenlegungstag:

36 23 696
F 04 D 27/02
14. Juli 1986
28. Januar 1988

1

5

10

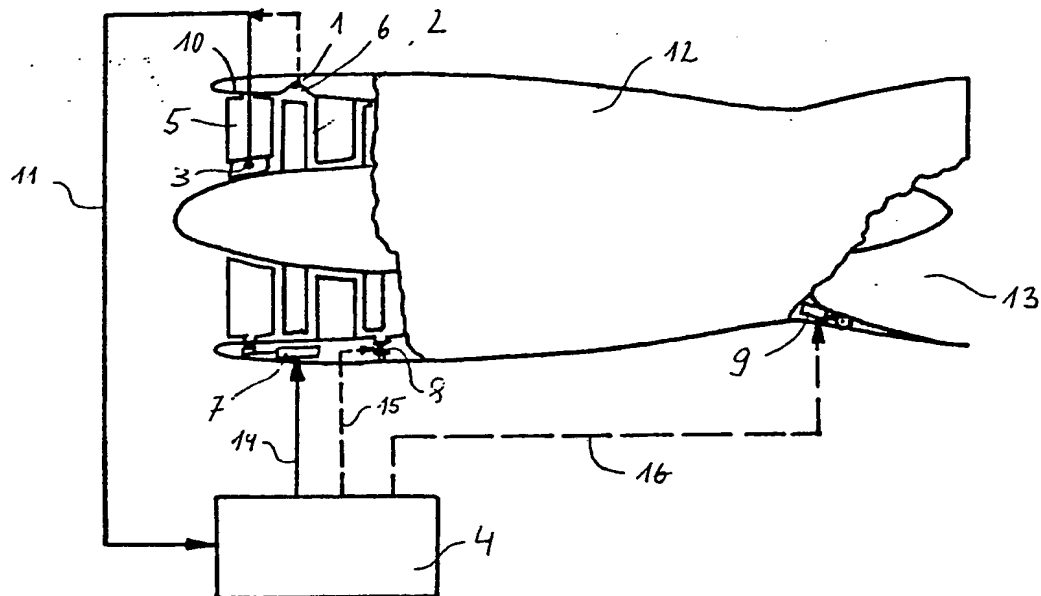
15

20

25

30

35



ORIGINAL INSPECTED

708 864/122